

補充肌酸對人體運動能力的影響

The effect of creatine repletion on athletic abilities

尤春英副教授

中國國家體委科研所

You Chunying

Associate Professor

National Research Institute of Sports Science, CHINA



Abstract

Creatine has been discovered by scientists for a century. There are many recent investigation of the effect of creatine on athletic performance in China. The present paper attempts to discuss the pro and cons of the utilization of creatine to enhance athletic performance.

一. 肌酸及其研究概況

肌酸的概念

肌酸(Creatine)又稱甲基胍基甘氨酸，它是天然存在於高級哺乳類動物及人體內的一種氨基酸衍生物。其化學分子式為： $C_4H_9N_3O_2H_2O$ 。正常人體內的肌酸含量(以體重70kg的成年男子為例，其體內肌酸總量約120g)大約95%存在於骨骼肌和心肌(主要是骨骼肌)中，5%存在於大腿、肝臟和睪丸等組織中(Hunter, 1992; Walker, 1979)。有研究表明，肌酸主要是在肉、魚和其它動物產品中，只有少量的肌酸是在植物中發現的。

肌酸的合成

有研究表明，人體對肌酸的需要量為2g/天，正常膳食可提供的肌酸約少於1g/天，主要是瘦肉和魚，不足部分由肝、腎、胰等組織合成，人體肉肝臟、胰和腎臟通常在乙酰氨基轉移酶及精氨酸、甘氨酸轉肽基酶的作用下，將蛋氨酸的甲基和精氨酸的肽基，轉移到甘氨酸的骨架上而合成肌酸，再經血液運輸到骨骼肌、心肌、大腦等組織。在這些組織中，肌酸再經磷酸化作用生成磷酸肌酸(PCr)。在人體內Cr和PCr組成肌酸池(Creatine pool)，它是能量利用，儲存的重要物質，骨骼肌、心肌、腦組織中的Cr在肌酸激酶(CK)的催化下轉變成含高能磷酸鍵的PCr。正常情況下，血漿肌酸的含量為50-100 μ mol/L，骨骼肌中的PCr約佔總肌酸池的2/3(Balsom et al, 1994)。在合成肌酸的物質中，甘氨酸和精氨酸是重要的氨基酸。

肌酸合成的影響因素

有研究表明，羥酮、甲狀腺素和胰島素對肌酸的合成均有促進作用；而胰高血糖素，雌激素及糖皮質激素能抑制轉肽基酶活性，因此都有減少肌酸合成的作用。

有研究表明，健康成人體內的肌酸池總量是恆定的。運動和膳食對安靜狀態下肌酸池含量的影響很小；很多研究表明，多食瘦肉和魚或補充外源性的肌酸有利於體肉肌酸池的增加(Balsom et al, 1994; Fitch, 1968; Greenhalf et al, 1994; Harris et al, 1992; Soderlunnd et al, 1994)。還有研究表明，補充外源性肌酸可明顯提高人體肌肉肌酸含量(Benedict et al, 1923; Block et al, 1939; Chanutin, 1926)。據文獻報道，受試者每天口服4x5g(或20-30g)肌酸，5天後其肌肉或血漿中的肌酸總量(包括自由肌酸和磷酸肌酸)明顯升高，其中約20%是磷酸肌酸，體內肌酸水平越低，補充後升高的越明顯(Fitch, 1968; Greenhalf et al, 1994; Harris, et al, 1992)，女性體內的肌酸水平略高於男性，其原因尚不清楚(Benedict et al, 1923; Forsberg et al, 1991)，但亦有文獻報道，外源肌酸增加時，自身合成能力受抑制(陳吉棣, 1996)。長期素食者可使體內肌酸池水平下降，素食者血漿和尿液中肌酸的濃度低於肉食者(Greenhalf et al, 1994)。

由此可見，肌酸的合成受多種因素的影響。

肌酸的研究概況

1832 年法國科學家 Chevreul 的研究首次發現了肌酸 (Greenhalf, 1995)。Leiberg 等人 (1847 年) 通過動物實驗研究發現，野生動物體內肌酸的含量高於家禽動物的十倍，因而他推論肌酸與肌肉的活動有關。19世紀末，人們已開始對人體補充肌酸及能量物質的變化進行了研究。但是，直到近幾年，補充外源性的肌酸對人體運動能力的作用和影響才被人們所確認，因此進一步認識到肌酸在肌肉能量代謝過程中的重要作用。

二. 肌酸在骨骼肌能量代謝中的作用

在正常人體骨骼肌中，60% 的肌酸是以磷酸肌酸的形式存在的。眾所周知，磷酸肌酸(PCR)屬磷酸原供能系統，在短時間、高強度、間歇性的以無氧代謝為主的運動 (如舉重、短跑、速度滑冰、投擲等)項目中佔主要比例。在短時間、高強度運動骨骼肌的能量代謝過程中，供給肌肉收縮所需要的能量主要直接來源於三磷酸腺苷(ATP)。磷酸肌酸是肌肉收縮時能量供應中必不可少的物質基礎，而肌酸 (Cr) 則是合成磷酸肌酸的重要原料。在組織內，肌酸再經磷酸化作用而生成磷酸肌酸。而磷酸肌酸是肌肉中儲存自由能的主要高能化合物之一，它與ATP同屬磷酸原供能系統的主要供能物質，其含量的高低與人體的速度、爆發力等極量運動能力有密切的關係。在肌肉劇烈收縮運動而 ATP 耗盡時，磷酸肌酸主要起暫時性的能量緩充作用 (Jan van Deursen et al, 1993)，磷酸肌酸在肌酸激酶的催化作用下，與二磷酸腺苷(ADP)反應，生成三磷酸腺苷和肌酸， $\text{Pcr} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Cr} + \text{ATP}$ 。這種由磷酸肌酸再合成的ATP，能迅速補充極量運動中磷酸原供能物質的不足，從而在一定程度上延緩肌肉疲勞的產生。

Hultman 等(1991)對比研究了在 30 秒最大強度的肌肉等長收縮過程中，磷酸肌酸和糖酵解兩種不同供能方式產生ATP的速度。表明在肌肉收縮後 1.28秒，磷酸肌酸合成ATP的速度即開始下降，而糖酵解生成ATP的速度直到 3 秒鐘時才達到峰值，很顯然，由磷酸肌酸再合成的ATP，迅速補充了肌肉中的能源物質的不足，從而緩解了糖酵解代謝供能的時間差。因此，人體肌肉的磷酸肌酸水平對肌肉無氧運動能力有至關重要的良好作用。

三. 補充肌酸對人體運動能力的影響

雖然對肌酸的首次發現迄今為止已有一百年的歷史，但作為一種運動營養補劑，提高肌肉劇烈運動能力僅是近幾年來國內外研究的熱門課題。

許多研究認為，補充外源性的肌酸對力量型、短時間、高強度、間歇重複運動具有重要作用，即補充後受試者的肌肉力量或運動能力明顯提高 (Balsom et al, 1993 & 1994; Greenhalf, 1993 & 1995; 陳吉棣, 1996) 對亞極

量強度或中小強度的有氧運動 (或稱耐力運動) 能力影響不大 (陳吉棣, 1996; Greenhalf, 1993; Nevill et al, 1989)，但也有研究認為，口服肌酸對中跑運動員的運動能力有明顯提高 (Balsom et al, 1993)。目前，國內很多運動隊都在使用肌酸，如：摔跤、舉重、游泳、田徑、划船、速度滑冰、自行車等。

國內運動營養學專家陳吉棣教授的研究表明，短期大劑量補充肌酸 20-30g/天 (1次 5g, 1天 4-6 次)，補充 4-6 天後，血漿和骨骼肌中總肌酸和磷酸肌酸濃度明顯增加並維持於高濃度達數周至 2 月；與對照組比較，補充肌酸者高強度(無氧供能)，重複多次、中間有間歇的運動作功量增加，尤其在重複多次運動的後期，運動能力顯著改進，恢復加速 (Greenhalf, 1995)。

在人體肌肉中，肌酸含量的上限值一般為 150-160mmol/kg 肌重，所以，無限制地補充外源性肌酸並不會使機體無限制吸收。在補充外源性肌酸的初始階段，人體肌肉對肌酸的吸收率較高，但是，人體肌肉肌酸的含量增加到一定程度後，就不會隨著外源性肌酸的繼續補充而進一步增加，因為人體自身肌肉中的肌酸是以每天 2 克的速度進行新陳代謝，代謝後的肌酸不可逆地降解為肌酐並隨尿液排出體外，人體肌酸水平基本是保持恆定的 (Greenhalf, 1995)。因此，一個肌肉肌酸水平很高的人補充外源性肌酸的效果並不十分理想，也就是說，超長周期地服用外源性肌酸的實際意義並不大。

Greenhalf的研究表明，補充外源性肌酸效果最佳的方法是大劑量、短周期 (如口服肌酸 20-30g/天，連續補充 5 天)。而長期小劑量的補充肌酸的實際效果並不理想。

有研究表明，讓受試者每人每天服用 4x5g 的單水肌酸，5 天後受試者腿部肌肉的極限運動能力有明顯提高 (Greenhalf, 1995)。

Greenhalf 等 (1994)、Balson 和 Ekblom 等 (1993) 研究認為，補充外源性肌酸對人體亞極量運動能力沒有影響。有待今後的研究進一步驗証。

傳統觀念認為：肌肉中較高的肌酸，磷酸肌酸水平主要能提高短時間、高強度或短距離、間歇性運動的運動能力，而對亞極量強度耐力性運動能力的效果不明顯。但是，近年已有研究表明，中等距離或長距離項目運動員補充肌酸後亦可明顯提高運動能力。Harris 等的研究是讓 10 名中跑運動員每天服用 6x10g 的肌酸 - 葡萄糖 (1:1) 混合制劑，連續 5 天後，分別對運動員進行 4x300M 和 4x100M 跑測試。結果表明，受試者服用肌酸後運動成績有顯著性提高 (王躍新, 1997)；Hultman 等的研究是對愛沙尼亞塔圖大學的 5 名中長跑選手進行的，方法是在運動員飲食中每天加入 30 克單水肌酸，6 包 x5 克 / 天，連續 6

天。另外5名訓練水平相同的中長跑選手同時服用葡萄糖安慰劑。實驗採用單盲法。服藥前後讓運動員進行4x300米，4x100米間歇跑（隔天交替）訓練，300米跑的間歇時間為3分鐘，1000米跑的間歇時間為4分鐘。結果表明：與服安慰劑組比較，服肌酸組選手服藥後4x300米間歇跑在最後一個300米跑的成績得到了提高，4x1000米間歇跑所需的總時間由服用前的770秒減少到757秒，具有統計學意義。而服安慰劑組服藥前後基本無變化（1000米間歇跑所需總時間由774秒增至775秒）。這一結果與Hultman的當乳酸水平達到最高點，機體處於最大疲勞狀態時肌酸起很大幫助作用的假設是相吻合的。從而也說明服用肌酸確實能幫助中長距離的耐力項目選手提高成績。

四. 關於補充肌酸對運動成績的影響及其副作用 對提高運動成績的影響

據文獻報道：俄羅斯和保加利亞的優秀選手在過去的幾屆奧運會上均使用過肌酸，英國一些奧運選手在上屆巴塞羅那奧運會上曾服用肌酸並贏得了獎牌。1992年8月7日倫敦時報報道的一篇文章說：“100米金牌獲得者林福德·克里斯蒂（Linford Christie）在奧運會前就已經使用過肌酸。”而在健美雜誌月刊上刊登的文章說：“400米跨欄金牌得主薩莉·罔納爾是另一名使用肌酸的運動員。”英國一些划船選手在準備巴塞羅那奧運會期間也服用了肌酸。倫敦時報曾報道：“英國110米跨欄選手科林·傑克遜（Colin Jackson）是肌酸的使用者，盡管他沒有摘取奧運會獎牌，但他連續在一些比賽中擊敗奧運會金牌得主馬克·麥科伊（Mark McEoy）”。健美雜誌月刊引用傑克遜的話說：“我在訓練和比賽中使用肌酸所取得的成績非常出色（馮連世，1996）”這些足以說明補充肌酸能提高運動能力或者說能提高使用者的運動成績。

補充肌酸的副作用

我國著名運動營養學家陳吉棣教授研究表明，短期大劑量肌酸補充（20-30g/d，5-14天），未見毒副作用；但出現體重增加，20-50g/d，6天後平均增加體重0.9-1.1Kg，少數運動員有肌肉酸漲感覺（陳吉棣，1996）。本文作者讓受試者服用少於25g/d的肌酸，連續服用5天後，發現個別運動員亦出現肌肉發緊發硬的感覺，但未見體重有增長；長期大劑量服用會抑制機體內源性肌酸的合成。這種抑制作用是否會在停止補充後消失，目前在人體上還沒有實驗証據。但動物實驗表明在停止補充肌酸後，轉氨基酶活性可恢復到正常狀態（馮連世，1996）。

五. 參加比賽的競爭選手服用肌酸違禁嗎？

由於補充肌酸能提高運動成績，所以一些批評家建議在重大比賽前應禁止補充。然而目前國際奧委會並未把肌酸列入違禁藥物。Roger Harris博士認為禁止使用肌酸將

是愚蠢的，他說：“如果禁止使用肌酸，那麼是不是也應該禁止運動員吃生肉、半熟牛肉、生牡蠣和生雞蛋呢？（王躍新，1997）”由此看來，要禁止使用肌酸還很難實施。

綜上所述，短時間、高強度的運動需要動用大量的ATP、CP，而機體內儲存的ATP，CP僅能維持在肌乳酸產生前幾秒鐘運動，這是由於運動中ATP的生成量不能滿足其需要量，短周期大劑量的口服肌酸（4x5g/d，連續服5天）可使人體肌肉肌酸和磷酸肌酸水平增加，並且提高其在血液中的水平，增強肌肉極量運動過程中，磷酸肌酸對ATP合成的促進作用，延緩肌乳酸的出現和維持高強度運動的作用能力。從而在一定程度上有效地延緩疲勞的產生，提高人體極量運動能力。因此，短周期大劑量補充外源性的肌酸可被視為提高人體運動能力（特別是速度和爆發力）的一種新途徑；對提高中長距離跑運動員的運動能力目前已有研究表明。補充肌酸對亞極量、耐力性運動能力的影響目前觀點不一，有待今後進一步研究証實。

補充肌酸的副作用有增加體重的影響；我國隊員如田徑、游泳、速度滑冰等，服用肌酸後，個別隊員有肌肉發硬、酸漲的感覺。

參考文獻

- Balsom, P.D. et al. (1993). Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 3: 143-149.
- Balsom, P.D., & Harris, R.C. et al. (1993). The effect of oral creatine supplementation on running performance during maximum short term exercise in man. *Journal of Physiology.* 74; 467.
- Balsom, P. D, et al. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Med.* 18 (4); 268-280.
- Benedict, S.R., et al. (1923). The metabolism of creatine. *J. Biol. Chem.* 56:229-230.
- Block, K., et al. (1939). The metabolic relation of creatine and creatinine studied with isotopic nitrogen. *J. Biol. Chem.* 131: 111-121.
- Broberg, S., et al. (1989). Adenine nucleotide degradation in human skeletal muscle during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 67: 116-122.
- Chanutin A. (1926). The fate of creatine when administered to man. *J. Biol. Chem.* 67: 29-37.

- Fitch, C.D. (1968). Creatine metabolism in skeletal muscle III : specificity of the creatine entry process. *J. Biol. Chem.* 243: 2024-2027.
- Forsberg, A.M., et al. (1991). Muscle composition in relation to age and sex. *Clin. Sci.* 81: 249-256.
- Greenhalf, P. L., et al. (1993). Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin. Sci.* 84: 565-571.
- Greenhalf, P.L, et al. (1994). The effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am. J. Physiol.* 266: E726-E730.
- Greenhalf, P.L. (1995). Creatine : its role in physical performance and fatigue and its application as a sports food supplement. *Inside.* 3: 1-4.
- Harris, R.C, et al. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin. Sci.* 83: 367-374.
- Hultman, E., et al. (1991). Energy metabolism and fatigue during intense muscle contraction. *Biochemical Society Transactions.* 19: 347-353.
- Hunter, A. (1992). The physiology of creatine and creatinine. *Physiol. Rev.* 2: 586-599.
- Jan van Deursen., et al. (1993). Skeletal muscles of mice deficient in muscle creatine kinase lack burst activity. *Cell.* 74: 621-631.
- Nevill, ME., et al. (1989). Effect of treadmill training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.* 67: 2367-2382.
- Norman, B. & Harris, R.C., et al. (1993). The effect of oral creatine supplementation on running performance during maximal short term exercise in man. *J. Physiol.* 74:467.
- Soderlunnd, K, et al. (1984). Creatine supplementation and high-intensity exercise : influence on performance and muscle metabolism. *Clin. Sci.* 87 Suppl : 120
- Walker, J.B. (1979). Creatine : Biosynthesis, regulation and function. *Adv. enzymol. Areas Med.* 50 : 177-242.
- 陳吉棣 (1996) 肌酸與運動能力。中國運動醫學學術會議論文摘要。11-12。
- 馮連世 (1996) 肌酸和肌酸的補充與運動能力，國家體委科研所論文選集。
- 王躍新譯 (1997) 肌酸對提高運動成績有幫助嗎？國際反興奮劑動態。